

지속가능한 물과 에너지 관리: ‘에너지-물 넥서스’ 관점에서 미국과 한국의 법과 정책에 대한 연구*

김 하 나**

<국문초록>

에너지와 물은 서로 긴밀하게 관련되어 있으며 이를 에너지-물 넥서스(Energy-water nexus)라 한다. 기후변화, 인구증가, 경제성장뿐 아니라 수자원의 지속가능한 이용과는 상충되는 방식으로 설계된 에너지 정책 등으로 인해 수자원의 이용가능성은 향후 악화될 것으로 전망된다. 이 연구는 이러한 상황에 대한 대응 필요성을 인식하고 에너지-물 넥서스의 개념을 정리하고, 에너지-물 넥서스와 관련해 선진적으로 대응하고 있는 미국의 법적·정책적 대응 현황을 살펴보고 국내법과 정책을 살펴봄으로써 국내 에너지-물 넥서스 관련 대응현황에 문제점을 발견하고 개선방안을 제안하였다.

연구 결과 국내 법령에서는 에너지-물 넥서스에 대한 인식을 발견할 수 없었고, 두 자원의 상호연관성을 인식하고 부처 간 중복되거나 상충되는 정책을 조정하기 위한 프로그램이나 전담기구를 찾아볼 수 없었다. 또한, 에너지-물 넥서스를 파악할 수 있는 통계자료가 부재하며, 현재 관련 통계는 제공되는 정보가 제한적이며, 관련 정보를 지속적으로 수집 및 편찬할 수 있는 주체가 명확하지 않은 실정이다. 향후 수자원 이용가능성 악화와 기후변화에 보다 효과적으로 대응하고, 에너지와 수자원을 보다 통합적이고 지속가능한 방식으로 관리 및 이용하기 위해서는 두 자원의 상호의존성이 법과 정책에 반영될 수 있도록 해야 하며 통계 자료의 개선과 더불어 이 이슈에 대한 연구지원사업의 확대를 국내 상황에 대한 분석 및 정책적인 함의를 도출이 필요하다.

주제어: 기후변화, 물 이용가능성, 에너지-물 넥서스, 에너지-물 상호연관성, 지속가능한 자원관리

DOI: 10.18215/envlp.16..201602.101

* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2013S1A3A2054969)

** 연세대학교 법학연구원 연구교수, hanakim0729@gmail.com

www.kci.go.kr

I. 서론
II. 에너지-물 넥서스
III. 에너지-물 넥서스 관련 미국의 법적·정책적 대응
IV. 국내 에너지-물 넥서스 관련 법적·정책적 대응 현황
V. 결론

I. 서론

최근 중부지역의 극심한 가뭄으로 인해 충남 지역 8개 시군을 대상으로 한 첫 강제 제한급수가 추진되었다. 이 결과 지역민들의 용수의 원활한 이용이 어려워졌을 뿐 아니라 농작물 재배를 위한 관개수 조달이 곤란해졌으며 인근 댐에서 용수를 공급받는 충남지역 발전소의 가동에도 빨간 신호가 켜졌다.¹⁾²⁾ 이처럼 에너지 시스템에서는 물이 필요하고 물의 공급에는 에너지가 필요해, 서로 긴밀한 연관관계에 있으며 이러한 에너지와 물 자원 사이의 상호연관성 혹은 상호의존성은 ‘에너지-물 넥서스(Energy-Water Nexus)’라고 불린다.³⁾

인구증가와 경제성장으로 인한 물 수요 증가, 또 삶의 질에 대한 기대수준이 높아지면서 향후 물 수요는 증가할 것으로 전망된다. 또한, 인구증가와 경제성장으로 동반되는 에너지 수요 증가가 물 수요 증가를 유발할 것으로 예상된다. 이처럼 여러 요인들로 인해서 물 수요는 높아지지만, 물의 이용가능성은 기후변화 결과 온도 상승에 따라 증발 및 강수 속도가 빨라지면서 지표수량이 줄어들어 낮아질 것으로 전망된다. 이러한 이용가능한 수자원량의 저감은 에너지 시스템의 신뢰도에 악영향을 미칠 것으로 전망된다. 반대로 물과 에너지 사이의 긴밀한 상호의존성을 고려하지 않은 에너지 정책 또한 수자원의 이용가능성에 악영향을 미칠 수 있다. 이처럼 여러 요인으로 인해 수자원의 이용가능성 악화가 예상되고 이 결과 에너지

1) 정일웅, “충남도, 내달 정부 주도 첫 ‘강제 제한급수’ 시행”, 2015 <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2015102808135649039> (2015.11.30.)

2) 임호범, “‘최악 가뭄’ 충남 첫 강제 제한급수... 물 모자라 발전소 가동 비상”, 2015 <http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2015102750691> (2015.11.30.)

3) Energy-water nexus는 국내에서 에너지-물 상호연계, 에너지-물 연계, 에너지-물 결합 등으로 번역되어 사용되고 있다. 본 논문에서는 한국어로 번역된 표현들이 아직은 국내 독자들의 직관적인 이해에 큰 도움이 되지 않는다고 생각해 에너지-물 넥서스를 그대로 사용하였다.

시스템에 악영향을 미칠 것으로 예상되면서 보다 지속가능한 수자원 및 에너지 자원의 관리 및 이용을 위해 에너지-물 넥서스에 대한 관심이 높아지고 있다. 국제기구나 선진국에서는 이 문제에 대해 이니셔티브를 가지고 선도적으로 대응하고 있다.

UN은 물과 에너지 사이의 긴밀한 연계성 상호의존성을 인식하고 담수 및 위생 시설 관련 문제에 관한 UN 내 부처 간 조정 메커니즘인 UN Water를 수립해, 에너지 생산을 위한 물의 효율적인 이용을 강조하고 있다. United Nations World Water Assessment Programme은 UNESCO의 발의하고 주최한 프로그램으로 이를 통해 UN Water에 참여하고 있는 부처와 파트너들이 함께 세계 물 개발 보고서(World Water Development Report)를 작성 및 발간하고 있다.⁴⁾ 미국에서는 에너지-물 넥서스에 대한 인식은 관련 법안 제정 노력까지 이어졌는데 “보다 효율적이고 신뢰도가 높고 지속가능한 에너지와 깨끗한 물 자원의 공급을 위해 에너지부(Department of Energy)의 연구·개발·실증 프로그램에서 물 집약도가 고려되도록 보장”하는 에너지 및 물 연구 통합 법(Energy and Water Research Integration Act)이 발의되어 의회에서 논의되고 있다⁵⁾.

국내에서도 물-에너지 넥서스에 관심이 높아지고 있다. 2015년 제7차 대구경북 세계 물 포럼에서는 에너지-물 넥서스가 행동목표의 하나로 제안되었으며, 2014년 제주포럼에서도 지속가능한 발전을 위한 물, 식량, 에너지에 개별적 접근이 아닌 통합적 접근의 필요성에 관심이 모아졌다. 2015년 10월에는 Water-Energy-Food Nexus International Conference가 개최되기도 하였다.

본 연구는 수자원과 에너지 자원의 지속가능한 이용을 위해 이 두 자원 사이의 긴밀한 상호연관성을 인식하고 선도적으로 대응하고 있는 미국의 법적·정책적 현황을 살펴보고 국내의 대응 현황을 분석해 이를 바탕으로 법적·정책적 제언을 제공하고자 한다. 에너지와 수자원 사이의 긴밀한 연계는 에너지 서비스 공급에 이용되는 물의 측면 또는 용수 공급에 소비되는 에너지 측면에서 논의되기도 한다. 본 논문은 에너지-물 넥서스를 주로 에너지 서비스 공급에 이용되는 물의 측면에서 연구 목적의 달성을 위해 다음과 같이 전개하고자 한다. II 장은 에너지-물 넥서스의 개념에 대해서 설명하고 III 장은 에너지-물 넥서스와 관련해 미국의 법적·정책적 대응을 검토하고 IV 장은 국내의 에너지-물 넥서스 관련 법적·정책적 검토를

4) UN Water, *Water and Energy*, 2014 <http://www.unwater.org/topics/water-and-energy/en/> (2015.10.30.)

5) 2014년 제113회 의회에서 상정되었으나 법률로 제정되지는 못하였다 (<https://www.govtrack.us/congress/bills/113/hr5189> (2015.10.22.)).

통해 이 두 자원의 상호의존성이 파악될 수 있도록 현황에 대한 정보가 수집되고 있는지, 에너지-물 넥서스를 고려한 정책이나 법이 시행되고 있는지 분석한다. V 장에서는 앞서 내용을 바탕으로 에너지-물 넥서스의 고려에 대한 법적·정책적 대응을 제언하고자 한다.

II. 에너지-물 넥서스 (Energy-Water Nexus)

1. 에너지-물 넥서스의 개념

에너지와 물은 서로 긴밀한 연관관계에 있다. 물을 취수원에서 취수하고 정화한 후 소비자에게 배수하고 사용된 물을 다시 수거하고 처리해 자연 상태로 돌려보내는 일련의 과정에서 에너지가 필요하다. 이때 소비되는 에너지의 양은 수원과의 거리 또는 수원의 깊이, 수자원 처리 공정 등에 의존적이다. 덧붙여서 이용되는 물의 종류(담수, 소금기가 섞인 물(brackish), 염수, 폐수 등)와 용도(냉각수, 상수, 공정수 등)에 따라 소비되는 에너지양은 큰 차이를 보이며 특히 염분이 포함된 물에서 염분을 제거하는 담수화(desalination)는 가장 에너지 집약적인 방법의 하나이다. 이 외에도 물의 최종소비 단계에서 물을 데우거나 빨래를 할 때 에너지가 사용된다.⁶⁾

반대로 소비자에게 에너지 서비스를 제공하기 위해 에너지 자원을 채굴하고 이를 처리 및 변환하는 과정에서도 물이 사용된다.⁷⁾ 1차 에너지 생산 시 예를 들어

6) IEA, *Water for Energy Is energy becoming a thirstier resource? Excerpt from the World Energy Outlook*, 2012, 4면.

7) 본 논문에서는 물 소비(consumption) 대신에 이용(use)이라는 용어를 사용하고 있다. 에너지-물 넥서스 관련 문헌들은 취수(withdrawal)와 소비(consumption)의 두 가지 개념을 구분하고 있다. 취수는 수원에서 인간의 활동을 위해 전용된 물의 양을 소비는 취수된 물 가운데 증발이나 작물의 생육 혹은 제품 생산으로 제품 내에 함유되어 수원으로 되돌려 보낼 수 없는 물의 양을 의미한다(IEA, 위의 책, 2012; Jordan Macknick, Robin Newmark, Garvin Heath, and KC Hallett, *A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*, National Renewable Energy Laboratory, 2011). 정의에 따라 취수량은 소비량보다 더 많은 양을 의미하며 신안국 외(2014)는 국내 공업용수 중 소비수량은 8.5%로 추정하였으며, 생활용수량은 전체 용수량 중 FAO의 기준을 적용해 10%를 소비수로 간주하였다. 본 논문에서는 Sovacool and Sovacool(2009)의 연구에서처럼 취수 및 소비의 용어를 구분하지 않고 보다 친숙한 이용 또는 사용이라는 용어로 가름하려 한다. 특별한 언급이 없을 경우 이 용어는

그러나 우리나라의 경우 2011년 기준 총 용수이용량 195.4억 m³ 중 농업용수가 48.4%로 가장 큰 비중을 차지하고 생활용수가 약 39.2%, 공업용수가 약 12.0%를 차지한다. 총 화력발전소의 용수(담수)사용량은 공업용수 사용량 23.4억 m³의 약 5.0%에 해당한다.¹⁰⁾¹¹⁾ 이는 국내 발전소의 대부분이(특히, 대형 발전소) 해안가에 위치해 냉각수를 해수로 조달하기 때문이다.¹²⁾ 우리나라는 원자력발전소를 제외한 화력발전소에서 사용된 일일 총 용수 사용량 5,801만 m³/일 중 99%는 해수에서 조달되고 있으며 나머지 1%가 담수로 조달되어 미국보다 담수 이용량이 적다.¹³⁾

에너지 서비스 공급에 있어 물 사용량은 에너지원, 변환기술, 냉각기술 등 다양한 요소에 따라 큰 차이를 보인다.¹⁴⁾ 앞서 언급한 것처럼 에너지 자원의 채굴 및

가정, 농업관개수, 가축업, 수산양식, 산업부문, 광업, 화력발전) 물 이용량을 추정한 보고서를 발간하고 있다. 또한, 이 보고서는 부문별 물 이용량 추세 변화 평가도 제공한다. 2014년 발간된 보고서에 따르면 화력발전부문은 담수뿐 아니라 미국 내 염수(saline water) 사용량(1.82억 m³/일)의 대부분(91%)을 사용하고 있다(Mally A. Maupin, Joan F. Kenny, Susan S. Hutson, John K. Lovelace, Nancy L. Barber, and Kristin S. Linsey, *Estimated use of water in the United States in 2010: U.S. Geological Survey Circular 1405*, 2014, 56면).

10) 국토교통부, 『통계로 보는 한국의 수자원』, 2013, 242, 336면.

11) 연간 전국 화력발전 냉각용수 이용량은 167억m³이며, 이 중 해수이용량이 166억m³으로 대부분을 차지한다.

12) 맹준호·김태윤·서동환·서재인·손민호·강태순, 『발전소 냉각수 배출에 따른 해양환경 영향 예측 및 최소화방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2013, 2면.

13) 환경부, 『공장폐수의 발생과 처리』, 2014, 352-353면.

14) 화력발전은 화석연료 연소에서 발생한 에너지로 보일러 내의 물을 끓여 증기를 만들고 이 증기로 터빈을 회전시켜 전기를 생산하게 된다. 이때 발생한 이 증기를 냉각시키는 방식은 크게 관류(once-through)냉각 방식과 순환(recirculating) 냉각 방식과 건식냉각방식(dry cooling)으로 구분할 수 있는데, 관류냉각방식은 수원에서 취수된 물이 관로를 통해서 순환하며 복수기(steam condenser)에서 증기의 열을 흡수하고 더 높은 온도로 다시 방류되는 형태의 냉각방식으로 우리나라에서 일반적으로 사용된다. 이 냉각방식은 낮은 비용으로 순환냉각이나 건식냉각방식 대비 물의 취수량이 많은 단점이 있다. Sovacool & Sovacool(2009)은 관류냉각기술을 이용하는 발전소 건설에 모라토리엄을 선언할 것을 제안하기도 하였다. 습식순환냉각방식의 경우 냉각탑(tower)이나 냉각연못(pond)을 이용해 냉각과정에서 가열된 물을 식혀서 이를 다시 복수기로 보내 냉각에 재활용해 취수량은 적지만 설비비용이 비싸고 가열된 물을 식히는 과정에서 물이 증발해, 물 소비량은 관류냉각대비 많다. 건식냉각방식은 증기를 냉각을 위해 물 대신에 공기를 이용하는 방식으로 물 이용량이 매우 적지만 문제는 비용이 높고 발전 효율을 저하시키는 단점이 있다. 즉, 이 건식냉각방식은 물 이용량은 줄일 수 있지만 다른 측면으로는 발전량 대비 더 많은 연료를 사용하게 되면서(낮은 효율) 더 많은 공기오염물질과 온실가스를 배출시키게 되는 측면이 있다(고문현·류권홍, 『기후변화대응을 위한 에너지·자원법』, 2015, 371-372면; EIA, 앞의 책, 2012; Union of Concerned Scientists, *How it works: Water for Power Plant Cooling*, n.d. http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/

채광 및 운반 등과 관련된 상류 부문(upstream)에서도 물이 이용된다. 에너지 채굴에 이용되는 물의 양은 에너지 종류, 사용되는 회수/채굴 기술, 매장층의 지질학적 특징, 생산 역사 등 다양한 요인들에 의존적이다. 일반적으로 전통적인 천연가스는 다른 화석연료나 바이오연료 대비 시추 및 처리에 가장 적은 양의 물이 이용되는 연료이지만 셰일가스와 같은 비전통적인 천연가스의 경우 수평시추법과 더불어 물과 특정 화학약품을 혼합한 용매를 고압으로 셰일층에 주입해 암반에 균열을 일으켜 가스를 추출하는 수압파쇄법(hydraulic fracturing)을 이용해 가스를 생산해 내기 때문에 상당한 물을 이용한다. 석탄 생산 시에도 먼지 발생을 줄이든지 석탄을 분쇄하거나 품위를 높이기 위해 석탄을 세척하는데 상당한 물이 이용된다. 이런 화석연료보다 바이오연료의 생산에는 훨씬 많은 물이 필요하며 이때 사용되는 물의 양은 토양 특성, 기후대, 작물 종류, 관개기술의 효율 등에 따라 큰 차이를 보인다. 강수량이 많은 지역에서 재배되는 바이오작물의 경우 관개용수 이용량이 적고, 또한 폐기물에서 추출하는 바이오연료의 경우 물 이용량이 적은 편이다.¹⁵⁾

앞서 언급한 것처럼 특히 전력 발전 시 사용되는 물의 양은 연료와 발전 기술 및 냉각 방식에 따라 큰 차이를 보인다. 이외에도 같은 연료 및 발전 기술 및 냉각 방식을 사용하는 경우에도 전력 발전에 이용된 물의 양은 조달되는 냉각수의 온도와 같은 외부적인 특성에도 의존적이다. 조달되는 냉각수의 온도가 낮을 경우 더 적은 양의 물을 이용해서도 냉각할 수 있지만 반대의 경우에는 냉각을 위해 많은 양의 물이 필요하게 된다. 화력발전(집광형태양열 발전, 바이오, 석탄, 원자력, 천연가스 발전 등)의 경우 냉각수와 순수 및 용수가 사용된다.¹⁶⁾ 화력 발전 대비 재생가능에너지를 이용한 발전 기술은 매우 적은 양의 물이 이용된다.¹⁷⁾ 태양광 패널은 종종 패널을 세척하는 데 물이 이용되고, 풍력발전의 경우에도 소량의 물

energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant.html#.VIQbZnbhCUk (2015.12.31.)).

- 15) IEA(2012) 보고서 Figure 17.3은 1차 에너지 생산에 필요한 물 취수량 및 이용량을 보여 준다. 셰일 가스 1toe 생산에는 대략 102에서 104리터 범위 내의 물이 이용되는 반면 바이오디젤(대두) 생산 시에는 약 103에서 106리터 범위의 물이 이용된다(IEA, 앞의 책, 2012, 7면).
- 16) 발전소 내 보일러에 사용되는 물은 원수(raw water)는 관석(scale)이나 슬러지(sludge)의 퇴적, 보일러 내부의 부식(corrosion) 등을 막기 위해 물을 고도로 처리해 (침전, 여과, 흡착, 탈기 등) 특정 조건에 부합하게 정화해 사용한다.
- 17) 집광형태양열발전은 재생가능에너지에 포함되지만, 화석연료를 사용한 화력발전보다 더 많은 물을 사용한다. 그렇기 때문에 집광형태양열발전은 기후변화 저감에는 기여할 수 있지만 물 관리 차원에서 기후변화 적응에 좋은 대안이라 할 수 없다.

이 청소 등에 사용되지만 이 양은 화력발전에서 사용되는 양과 비교했을 때 매우 미미한 양이다. Macknick et al.(2011)의 미국 내 화력발전의 물 이용량 추정치 중 중앙값을 기준으로 살펴보면 원자력 발전(관류냉각방식)이 1MWh의 전력을 생산하는 데 가장 많은 물(167.88 m³/MWh)을 이용하며 천연가스 복합발전(건식냉각)이 MWh당 0.008m³으로 가장 적은 양의 물을 사용하는 것으로 나타났다. 원자력 발전도 냉각방식에 따라 그 물 이용량은 큰 차이를 보여, 냉각탑 방식으로 냉각하는 발전소의 경우 천연가스나 석탄 발전보다 더 적은 물을 이용하는 것으로 나타났다.¹⁸⁾

(2) 용수 서비스 공급에 소비되는 에너지(Energy for Water)

용수 서비스 공급을 위해 소비된 에너지양은 수원의 깊이, 수처리 공정, 최종 사용처, 누수 및 증발로 인한 손실, 폐수 처리 수준 등 여러 변수들에 의존적이다. 이 외에도 기후, 온도, 강우를 비롯한 지형 등과 같은 자연적인 조건도 용수 서비스 제공에 필요한 에너지양에 영향을 미친다.

미국의 경우에도 용수 서비스 공급에 이용된 에너지의 양에 대한 정보는 기록이 잘 되어 있지 못하다. 2002년 발간된 미국 전력연구소(Electric Power Research Institute)의 보고서는 용수 공급 서비스가 미국 전체 전력 이용량의 4% 정도를 차지한다고 추정하였다. 이후에 전력 연구소의 추정값을 보완 및 갱신한 연구들에 따르면,¹⁹⁾ 용수 공급 서비스의 전력 소비량은 연구에 따라서 상당히 상이하게 나타났다. 2009년 River Network의 연구는 2007년 기준으로 용수 공급 서비스와 관련된 전력 소비량이 미국 전체 전력 소비량의 약 13%를 차지하는 것으로, 2011년 Twomey와 Webber의 연구는 그 비중이 2009년에 6.1%를 차지하는 것으로 추정하였다. 그러나 여전히 후속 연구들 또한 많은 한계가 있으며,²⁰⁾ 미국의 경우에도 에

¹⁸⁾ Macknick et al., 앞의 책, 2011, 11면. (참고 자료의 갯런 단위를 변환하여 표기하였음)

¹⁹⁾ EPRI의 추정값은 너무 오래된 2차 자료를 이용해 추정하였고, 이 에너지 소비량에는 난방, 냉방, 펌핑 등이 포함되지 않았으며, 미래 상황에 대한 예측이나 고려를 기반으로 하지 않았다는 한계가 있다(Copeland Claudia, *Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use*, 2014, 2-8면).

²⁰⁾ 후속이 수행된 연구들도, 발전 부문은 상당히 높은 비중으로 물을 자체적으로 조달하며 (self-supplied water), 일부 광업부문과 같은 산업분야도 물을 자체적으로 조달하는데 이때 전기도 이용되지만 상당한 양의 화석연료가 이용된다. 일부 주거 부문에서도 우물에서 연료를 이용해 물을 펌핑 해 사용하는데 이런 부분이 추정에 포함되지 않았다. 이 외에도 축산 및 관개 용수가 미국 내에서 발전부문에서의 용수 이용량 다음으로 큰 분야이고, 용수를 이용해 펌프를 이용해 자체적으로 용수를 조달하지만 이런 부분이 추정값에 포함되지 않았다. 이외에도 교통부문 및 생수 산업 부문에 등에 계산에서 제외되었다

너지 서비스 공급에 이용되는 물 측면은 관련 통계가 상당히 발전되어 있지만, 용수 서비스 공급에 소비되는 에너지 측면에 대한 연구는 아직 개선의 여지가 많다.

물 관련 에너지 소비량은 앞서 설명한 것처럼 다양한 요인들에 의존적이기 때문에 지역별로 큰 차이를 보이는데 2011년 Twomey와 Webber의 연구에 따르면 뉴욕주의 에너지-물 집약도는 텍사스주의 약 절반 정도였으며, 캘리포니아 남부지역의 경우는 뉴욕주의 약 4배 정도로 매우 높은 수치를 보였다. 특히 캘리포니아 남부지역에서 용수 공급과 관련된 높은 에너지 소비량을 San Joaquin Valley에서 이 지역으로 장거리를 산악지역을 넘나들면서 물을 펌프해 옮겨오는 데 많은 에너지가 소비됨을 그 원인으로 규명하였다.²¹⁾

2. 에너지-물 넥서스 전망

사실 이 에너지-물 넥서스는 새로운 주제는 아니다. 이미 1978년에 Harte와 El-Gasseir는 에너지와 물 사이의 긴밀한 의존성을 인식하고 향후 미국의 이용가능한 담수 자원의 한계가 미국 내 에너지 개발에 제약이 될 수 있음을 지적하고 생태계 균형과 인류의 번영, 수자원의 불균등한 분포, 변화무쌍한 기후 등 여러 요소들을 고려해 물 소비에 대한 적절한 기준을 만들고 에너지 정책과 수자원 관리정책을 이 기준을 바탕으로 서로 상충하지 않도록 수립할 것을 주장하였다.²²⁾ 이처럼 수자원의 이용가능성이 에너지 정책 수립에 있어 매우 중요한 요인 중 하나임을 지적된 것은 오래전의 일이다. 기후변화로 인한 수자원의 이용가능성 악화, 인구증가와 삶이 질 향상으로 인한 물 수요 증가, 이와 더불어 에너지 수요 증가로 인한 물 수요 증가로 인해 수자원의 이용가능성 악화가 목격되고 전망되면서 최근 에너지-물 넥서스는 많은 연구자를 비롯해 정책 결정자로부터 큰 관심을 받고 있다. 본 장에서는 각 요인들이 에너지-물 넥서스에 미치는 영향에 대해 보다 상세히 살펴보고자 한다.

(Copeland Claudia, 앞의 책, 2014, 3면).

21) Copeland Claudia, 위의 책, 2014, 4면.

22) John Harte and Mohamed El-Gasseir, "Energy and War", *Science*, Vol. 199, No. 4329, 1978, 623-634면.

(1) 기후변화가 물 이용가능성 및 에너지시스템에 미치는 영향

1) 기상재해가 에너지 시스템에 미치는 영향

Stillwell(2013)은 기상과 수문시스템이 에너지 시스템에 미치는 영향을 “물은 너무 풍부해도(홍수) 너무 부족해도(가뭄) 너무 덥거나(폭염) 너무 추워도(폭서) 발전 부문에 영향을 미친다.”고 언급하였다.²³⁾ 홍수나 대규모 태풍의 경우 발전소는 안전을 이유로 발전이 정지하는데 2012년 동부를 강타했던 허리케인 샌디(Hurricane Sandy)로 뉴욕주(Nine Miles Point 1, N.Y.; Indian Point 3, Buchanan, N.Y)와 뉴저지주(Salem Unit 1, Hancocks Bridge, N.J.)에 있는 발전소 3개가 일시적으로 폐쇄되었다.²⁴⁾ 너무 추운 날씨에는 발전소 배관의 동결 및 동파로 인해 오작동이 발생할 수 있다. 2015년 1월 극심한 추위로 인해 뉴저지주 Indian Point의 핵 발전소 중 하나가 예비 물 공급 시스템의 배관 동결로 정지되는 사례가 발생하기도 했다.²⁵⁾

또한, 가뭄과 폭염은 에너지 서비스의 공급에 치명적인 영향을 미친다. 특히 물 집약적인 냉각 방식을 사용하는 발전소의 경우 냉각수 조달에 큰 어려움을 겪게 되고 수력발전의 경우 수위 하강으로 인해 전력 발전량이 줄어들거나 아예 전력 발전이 중단될 수 있다. 화력 발전소의 경우 수위가 발전소의 취수구보다 낮아지면 원천적으로 용수를 조달하지 못하거나, 적은 양의 물을 이용해 냉각 후 방류하게 될 경우 방류수 온도가 올라가 방류수의 온도 제한 규정을 맞추지 못하거나 다른 용수 수요 조달과의 충돌로 법적으로 취수하는 것이 불가능하게 되는 상황에 직면하게 될 수 있다.²⁶⁾

수력발전의 경우 앞서 설명한 것처럼 가뭄으로 댐의 수위가 낮아지면 터빈을 돌리는 수압이 낮아져서 전력 생산성이 낮아지게 된다. 최근 십 년 이상 지속된 극심한 미국 서부의 가뭄으로 인해 네바다 주와 애리조나 주 경계에 있는 후버 댐의

23) Ashlynn Suzanne Stillwell, *Water Impacts on Thermoelectric Power Generation, Dissertation*, 2013.

24) Steven Mufson, *3 nuclear power reactors shut down during Hurricane Sandy*, 2012, https://www.washingtonpost.com/business/economy/3-nuclear-power-reactors-shut-down-during-sandy/2012/10/30/7ddd3a94-22b6-11e2-8448-81b1ce7d6978_story.html (2015.11.22.)

25) Scott Waldman, *Cold weather triggers shutdown process at Indian Point*, 2015, <http://www.capitalnewyork.com/article/albany/2015/01/8559857/cold-weather-triggers-shutdown-process-indian-point> (2015.11.22.)

26) Ashlynn Suzanne Stillwell, 앞의 책, 2013, 16면.

발전 용량은 2000년 이래로 약 25% 정도 줄어들었다. 캘리포니아주 약 절반 정도의 지역은 극심한 가뭄 지역으로 구분되고 있는데 이 지역의 수력발전량은 최근 4년 동안 약 60% 정도 줄었다.²⁷⁾ 일부 작은 규모의 시설들은(예, 네바다 주의 Truckee River의 소규모 발전 시설) 현재 정지된 상태이고 다른 수력발전 시설들도 운영에 어려움을 겪고 있다. 이처럼 가뭄은 수력발전 시설의 가동에 제약이 되지만 더 나아가 전력 수요 조달의 어려움으로 정전을 일으킬 수 있고, 또한 수력발전 대신 전력 수요를 충족하기 위해 화력발전 가동을 높임으로써 기후변화 대응을 어렵게 할 수 있다.²⁸⁾ 가뭄이나 폭서와 같은 기상재해는 전력 계통뿐 아니라 발전소의 운영에 위협을 초래하고, 발전용량을 감소시키지만 더불어 전력 수요는 상승해 수요와 공급의 균형을 맞추지 못하게 될 위험이 있다.

이러한 가뭄으로 인한 발전부문의 피해는 다른 나라의 이야기만이 아니다. 2015년 우리나라의 충남지역도 극심한 가뭄에 시달리고 있다.²⁹⁾ 최근 늦가을 단비에도 불구하고 보령댐과 대청댐의 용수공급전망은 각각 심각 및 경계 단계에 있다.³⁰⁾ 2015년 10월부터 지자체별로 자율적 급수조정의 시행되었지만, 그 성과가 미비한 데다 가뭄이 지속된 결과 충남 8개 시·군을 대상으로 한 정부 주도의 첫 강제 제한급수가 시작되었다.³¹⁾ 지역민들의 생활 및 공업용수 사용량 제한 외에도 가뭄으로 인한 다목적 댐의 수위하락은 인근 서천, 보령, 당진, 태안 화력 발전소의 용수 조달에도 큰 영향을 미치고 있다. 충남지역뿐 아니라 경북, 전북, 강원지역의 주요 댐도 저수율이 매우 낮은 실정이다.³²⁾

27) 2014년 이례적인 가뭄이 캘리포니아 대부분에 영향을 미치고 있다. 텍사스와 오클라호마 캔자스주와 같은 인근의 주도 계속되는 심각한 가뭄을 겪고 있는데 이러한 가뭄은 지난 수년 동안 지속되고 있으며 미국해양대기청은 2014년 서부지역의 극심한 가뭄으로 인한 피해를 40억 달러로 추산하고 있다.

28) Todd C. Frankel, *Western drought steals clean energy along with fresh water at power plants*, 2015.
https://www.washingtonpost.com/national/at-hoover-dam-the-drought-is-stealing-clean-energy-along-with-fresh-water/2015/04/26/8ce2740a-e93d-11e4-9767-6276fc9b0ada_story.html
 (2015.11.22.)

29) 대전·충남·세종 지역의 평균 누적 강수량은 622mm로 평년 수준의 약 52%에 머무르고 있다.

30) 용수공급량과 관련해 정상, 관심, 주의, 경계, 심각한 다섯 가지 대응단계가 있는데 이중 실제 용수 이용과 관련해 대응은 주의 단계에서부터 요구된다. 주의 단계에서는 하천유지용수 감량이 경계 단계에서는 하천유지용수뿐 아니라 농업용수의 감량이 심각 단계에서는 추가로 생활용수와 공업용수의 일부 감량 노력이 요구된다.

31) 정일웅, “충남도, 내달 정부 주도 첫 ‘강제 제한급수’ 시행”, 2015 <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2015102808135649039> (2015.11.30.)

에너지 변환단계뿐 아니라 에너지 상류부문에서도 기상재해는 상당히 큰 영향을 미치는 데 호우나 홍수는 연료의 운반을 지연시키거나 연안 지역에 위치한 에너지 기반시설이나 항구에 피해를 주기도 한다. 허리케인 샌디로 발전소의 운영 중지뿐 아니라 석유 및 천연가스 정제 시설 및 파이프라인, 석유 터미널이 일시적으로 폐쇄되기도 하였다.³³⁾ 해안에 위치한 원유 생산시설이 2005년 허리케인 카트리나와 리타로 폐쇄되거나 석유 시추 및 생산 플랫폼 시설, 파이프라인 등이 손해를 입었다.³⁴⁾ 또한 이런 생산과정의 갑작스러운 변동 및 중단은 에너지 가격 상승을 일으킬 수 있고 이런 피해는 소비자에게 전가될 위험성이 있다. 이러한 기상재해가 에너지시스템에 미치는 영향은 기후변화로 더 커질 전망이다.

2) 기후변화가 에너지 시스템에 미치는 영향

가뭄, 폭염, 폭서, 홍수, 호우와 같은 기상재해는 수문시스템에 영향을 미치고 이 결과 에너지 서비스에도 영향을 미친다. 그러나 이러한 기상재해의 강도와 빈도는 기후변화로 인해 상승할 것으로 예측된다. 실제로 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 분석에 따르면 실제로 지난 1980년 이래로 10억 달러 규모의 기상재해의 빈도와 그 피해규모는 증가추세를 보인다.³⁵⁾ IPCC는 5차 평가보고서는 1950년 이래로 여러 지역에서 호우의 강도 및 세기가 증가한 것으로 보고 있으며 지구 평균기온 상승에 따라 21세기 말에는 호우가 더욱 빈번해 지고, 그 강도가 세질 것으로 전망하고 있다.³⁶⁾ 이처럼 온도 상승으로 증발 속도가 빨라지고 호우 빈도 및 강도가 높아지면서 지표수의 이용가능성은 낮아질 것이다.

IEA(2012)에 따르면 수자원이 풍부한 나라일수록 수력발전 비중이 높거나 냉각 방식 중에서도 물 이용량이 많은 관류냉각방식을 채택하는 등 에너지 시스템이 수

32) 임호범, “‘최악 가뭄’ 충남 첫 강제 제한급수... 물 모자라 발전소 가동 비상”, 2015 <http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2015102750691> (2015.11.30.)

33) 멕시코 만(Gulf of Mexico)에서 정제된 제품이 운송되는 콜로니얼 파이프라인(Colonial Pipeline)은 정전으로 인해 정상적으로 운영되지 않았다.

34) Department of Energy, *U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather*, 2013, 30면.

35) <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/time-series> (2015.11.20.)

36) IPCC, *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2013, 5-7면.

자원에 훨씬 의존적인 방식으로 구조화되는 경향이 있다. 수자원의 변동성이 증대되면 이러한 국가 및 지역에서 에너지 서비스의 원활한 공급이 차질을 빚을 가능성이 크다.³⁷⁾ 이처럼 물 부족이나 물 스트레스 지역뿐 아니라 수자원이 풍부한 지역도 기후변화로 인해 수자원의 이용가능성이 낮아져 에너지 부문에 악영향이 발생할 수 있다.

국내에서도 물 관련 재해로 1980년대 후반부터 재산피해액 규모가 증가하고 있으며,³⁸⁾ 기상청에 따르면 우리나라의 경우 기후변화로 인해 연간 호우일수는 현재 한반도 연평균 2.0일 수준에서 21세기 후반 2.8일 정도로 증가할 것으로 전망된다. 연평균 강수량은 1971년에서 2000년 기간의 평균강수량 대비 14% 증가하지만, 홍수빈도가 과거 대비 2.7배 증가하고 가뭄의 위험성 또한 3.4배 높아져 수자원의 이용성은 낮아질 것으로 전망된다.³⁹⁾ 그러므로 우리나라 또한 기후변화에 따른 극한 기상 현상이 에너지 시스템에 미치는 영향에서 자유롭지 않다. 기후변화는 에너지 시스템에 직접적으로 영향을 미치는 것 외에도 수자원의 이용가능성 악화로 에너지 시스템에 간접적으로 영향을 미친다. 즉, 냉각수로 이용가능한 수자원의 질(온도)과 양 및 신뢰도가 낮아져 안정적인 전력 공급에 문제가 발생할 가능성이 커지고 있다.

(2) 인구증가와 삶의 질 향상, 에너지 수요 증가에 따른 물 수요 증가

지구상의 물 중에서 담수는 2.5%에 지나지 않으며 빙하나 극지방의 만년설 또는 지하 깊이 위치해 사용할 수 없는 물을 제외하면 우리 인간이 사용할 수 있는 물은 1%에 못 미친다. 즉, 증발과 강수 과정을 통해 지구상에서 연간 인간이 사용할 수 있는 재생가능한 물의 양은 42,921km³이며 이 재생가능한 물의 양은 지역적으로 편차가 매우 커서 북아프리카 지역은 인구 일인당 274m³에 지나지 않지만 미국의 경우 일인당 재생가능한 수자원 양은 15,956m³이다.⁴⁰⁾ 기후대와 지리적인 특성에 따른 재생가능한 담수 자원량의 상이한 분포 외에도 경제활동이나 기술 및 제도의 수준 등에 따라 국가별, 지역별 수자원의 이용가능성은 매우 상이하게 나

37) IEA, 앞의 책, 2012, 12-13면.

38) 수자원공사, 『물과 미래』, 2015, 68면.

39) 기상청, 『한반도 기후변화 전망보고서』, 2012, 13면.

40) Food and Agriculture Organization of United Nations, *Freshwater Availability-Precipitation and Internal Renewable Water Resources (IRWR)*, 2014 http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-IRWR_eng.pdf (2015.10.12.)

타나며, 이 재생가능한 수자원 양 대비 취수된 물의 비율을 기준으로 이 값이 25-60% 수준이면 물 스트레스를 받고 있는(Water stressed) 국가, 60-75% 사이이면 물 부족(Water Scarcity) 국가 75% 이상이면 심각한 물 부족(Severe water scarcity) 상태에 있는 것으로 판단하는데 UN(2015)에 따르면 2011년 기준으로 전 세계 인구의 40% 이상이 물 부족을 경험하고 있다.⁴¹⁾

이와 같은 물 부족은 인구 증가와 경제성장으로 악화될 것이며 또한 삶의 질의 향상에 따른 식습관 변화로 생산에 많은 물을 소비되는 육류 소비가 늘어나면서 또한 가속화될 것이다. OECD는 적절한 조치를 취하지 않을 경우 인구 증가 및 경제 성장 결과로 전지구적인 물 수요가 약 55% 증가해(물 수요는 각각 제조업 분야에서 400%, 화력발전 부문에서 140%, 가정 부문에서 130% 증가할 것으로 예상됨) 2050년에는 전 지구 인구의 40% 이상이(지금 보다 23억 명 더 많은 수치) 심각한 물 부족을 경험할 것으로 전망하였다.⁴²⁾

국제에너지기구(IEA)는 2012년 세계에너지전망(World Energy Outlook) 보고서의 17장에서 에너지-물 넥서스를 'Water for Energy'라는 제목으로 다루었다. IEA는 발전과 연료 생산을 위해 2010년 전 세계에서 취수된 물은 5,830억m³로(소비된 물은 660억m³) 전체 취수량의 약 15%에 해당한다. 국제에너지기구는 새로운 정책 시나리오(New Policies Scenario)에서 인구 증가와 경제 성장과 더불어 늘어난 에너지 수요를 충족시키기 위해 에너지 생산을 위해 2035년에 취수된 물은 6,910 m³, 소비된 물은 1,220억m³로 증가할 것으로 전망하였다.⁴³⁾

(3) 잘못된 에너지 정책

앞서 설명한 요인들 외에도 에너지와 수자원 사이의 상호의존성을 고려하지 않고 수자원의 지속가능한 이용에 상충되는 방식으로 에너지를 개발 및 이용하는 경우 수자원에도 악영향을 미칠 뿐 아니라 이것은 다시 에너지 시스템에도 악영향을

41) United Nations, *The Millennium Development Goals Report*, 2015 <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/English2015.pdf> (2015.10.12.)

42) <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/waterchapteroftheoecdenviromentaloutlookto2050theconsequencesofinaction.htm> (2015.12.1.)

43) 새로운 정책 시나리오(New Policies Scenario)는 에너지 문제와 관련된 기존의 정책뿐 아니라 2012년 중반 이전 발표된 정책의 이행을 가정한 시나리오로 이 시나리오 하에서 2035년 1차 에너지 공급량은 2010년 대비 35% 증가해 17,197Mtoe에 이를 것이며 이 결과 21세기 말 전지구 평균 온도는 산업혁명 이전 대비 약 3.6°C 상승할 것으로 전망하고 있다 (IEA, 앞의 책, 2012, 15면).

미치게 된다. 중국의 경우를 그 예로 들 수 있다. 빠르게 증가하는 에너지 수요를 조달하기 위해 중국 정부는 제12차 5개년 계획(2011-2015)에 따라 14개의 석탄광 기지와 16개 대규모 석탄화력발전기지(총 발전설비용량 600GW)를 서부 내륙지역에 건설 중이다. 석탄 채굴 및 발전, 석탄화학산업처럼 물 집약적인 산업의 확대로 인해 2015년 약 99억 7,500만⁴⁴⁾m³에 달하는 물 이용량이 증가할 것으로 예상되고 있다. 이 결과 건조한 내륙지역에서 이미 주민들이 경작지에 물을 대는 데 어려움을 겪는다든지 몽골 내륙의 목초지역에서는 대수층이 낮아져서 침하지역이 발생한다든지 문제가 발생하고 있다.⁴⁴⁾ 현재 중국 정부의 에너지 정책이 현재는 수자원의 이용가능성에만 영향을 미치는 것처럼 보이지만, 에너지 전환 및 생산과정에도 물이 이용됨을 고려한다면 결국에는 물 집약적인 석탄화학산업과 석탄발전기지도 악영향을 미칠 것이다.

기후변화로 인한 기상재해의 빈도와 강도의 증가, 그에 따른 수자원 이용가능성의 악화, 인구 증가, 경제성장, 생활 수준 향상으로 인한 물 수요의 증가, 수자원과 에너지의 긴밀한 상호의존성을 고려하지 않은 에너지 정책 등으로 인해 수자원의 이용가능성은 점차 낮아질 것으로 예상된다. 이런 상황에서는 발전소의 냉각기술 채택에서부터 에너지 시스템의 기후변화적응 혹은 방재 대응 노력까지 수자원과 에너지 사이의 긴밀한 의존관계에 대한 인식이 필요하고 이를 바탕으로 이 두 자원의 지속가능한 관리를 위한 정책 수립 노력이 필요하다. 미국의 경우 선도적으로 에너지-물 넥서스에 대해 관심을 가지고 이를 연구하고 대책을 마련하고 있다. 다음 장에서는 에너지-물 넥서스와 관련된 미국의 대응을 살펴보고 국내법과 제도를 분석하고자 한다.

III. 에너지-물 넥서스 관련 미국의 법적·정책적 대응

1. 관련 통계자료 구축 노력

미국은 에너지-물 넥서스와 관련해 오랫동안 누적된 사례 연구가 존재할 뿐 아니라 국가 차원의 에너지 공급을 위해 이용·소비되는 물의 양에 대한 자료도 가장 선도적으로 수집되고 있다.

⁴⁴⁾ Greenpeace, *Thirsty Coal: A Water Crisis Exacerbated*, 2012. 1, 5-6면.

에너지관리청(Energy Information Administration, EIA)은 미국 에너지부 산하의 에너지 관련 통계를 수집하고 분석하는 기관으로 석탄, 천연가스, 석유, 우라늄 및 핵, 전기 등 에너지와 관련된 모든 자료를 다룬다. 에너지관리청이 수집하는 자료 중 Form EIA-860 연간 전력 발전업자 보고서(Annual Electric Generator Report)와 Form EIA-923 발전소 운영 보고서(Power Plant Operations Report)는 발전소별 냉각기술 및 물 이용량에 대한 통계를 수집한다. Form EIA-860과 Form EIA-923은 발전설비용량이 1MW 이상이거나 지역 전력망에 연계된 미국 전역의 발전소를 대상으로 정보를 수집한다.⁴⁵⁾ Form EIA-860은 발전소에서 이용하는 냉각시스템 관련 정보(냉각기술의 종류와 이용하는 수원 등)를 기록하도록 한다. 그러나 물 사용량 정보를 수집하지 않는다.⁴⁶⁾ 반면 Form EIA-923의 경우 매년 전력 발전량, 에너지 소비량, 보고 기간 말의 화석연료 스톡, 이용한 화석연료 비용 및 품질 등 다양한 정보 외에 추가적으로 발전소 냉각시스템에 대한 정보를 수집한다. 이 중 물 이용량과 관련된 정보는 발전업자의 보고 부담을 경감하기 위해 발전소 중 일부를 선택해 취수량, 배수량, 소비량 취수 및 배수되는 물의 온도에 관한 월별 자료를 수집한다.⁴⁷⁾

이 외에도 미국지질조사국은 국가 물 이용량을 부문별로 추정한 보고서를 5년 단위로 발간한다.⁴⁸⁾ 앞서 언급한 것처럼 2010년에는 화력발전에서의 용수 이용량이 관개용수 이용량을 초과해, 미국에서는 이제 수자원 관리 정책에서 에너지 부문이 더욱 중요한 위치를 차지하게 되었다.⁴⁹⁾

⁴⁵⁾ Form EIA-923의 경우 발전소 외에도 발전시설에서 사용될 연료를 보관하는 터미널의 경우에도 이 Form EIA-923을 제출하도록 하고 있다.

EIA, *Form EIA-923 Power Plant Operations Report Instructions*, OMB No. 1905-0129. n.d. http://www.eia.gov/survey/form/eia_923/instructions.pdf

EIA, *Form EIA-860 Instructions Annual Electric Generator Report*, OMB No. 2905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_860/instructions.pdf

⁴⁶⁾ EIA, *Form EIA-860 Annual Electric Generator Report*, OMB No. 1905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_860/form.pdf

⁴⁷⁾ EIA, *Form EIA-923 Power Plant Operations Report*, OMB No. 1905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_923/form.pdf

⁴⁸⁾ 이 보고서는 공공 공급, 가정부문, 관개용수, 축산용수, 양식업, 산업부문, 광업부문, 화력발전부문에 대해 2010년 물 이용량을 추정하고 부문별 물 이용량에 대한 추세를 분석한다(Maupin et al., 앞의 책, 2014, 44-47면).

⁴⁹⁾ 이 보고서는 발전부문에서의 물 이용량에 대한 실제 자료를 총합한 자료가 아닌 추정된 값을 표기하고 있고, 수력발전을 위한 하천수 이용을 비롯한 일부 자료가 포함되지 않았다는 한계를 지니지만, 언급한 것처럼 1960년 이래로 꾸준히 편찬되어, 부문별 물 이용량 추세를 파악할 수 있고 재생가능한 수자원량 대비 효과적인 자원관리 방안 도출에

2. 전담기구 구축 노력: 미국 물-에너지 기술팀 (Water-Energy Tech Team)

에너지부 산하의 사무소와 연구소들은 지난 십 년 동안 에너지-물 넥서스와 관련된 다양한 연구 및 개발 활동을 수행했지만, 기존의 활동은 프로그램별로 단편적으로 수행되어 프로그램 및 부서 간 이 결과물이 적절히 공유되지 못하는 문제점이 있었다. 이런 부서 간 다양한 노력을 조정하고 에너지부에서 최신 기술, 데이터, 모델링, 분석, 정책 우선순위를 규명하고 추진하기 위해 에너지부 장관 Moniz Iran은 물-에너지 기술팀(Water-Energy Tech Team, WETT)을 조직하도록 지시하였다. 2012년 가을 개설된 WETT는 에너지부 산하 사무소 및 연구소 간의 조정 및 협력뿐 아니라 다른 부처와 이해관계자들에게 이 문제의 중요성을 전달하는 여러 활동을 수행하고 있다.⁵⁰⁾ 기존의 여러 연구 및 평가들이 에너지-물 넥서스와 관련해 정부 조직들 간의 조정이나 효과적인 접근방식이 부족함을 경고하고 이를 개선할 것을 요청했기 때문에 이러한 대응팀이 구축될 수 있었다.⁵¹⁾

WETT는 *The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities* 보고서를 작성하였다. WETT는 이 보고서 작성을 통해 미국의 에너지-물 넥서스를 계량적으로 평가하고, 기후변화와 수자원의 변동과 미래 발전부문에 대한 영향을 분석하고, 현재 에너지 및 수자원 관련 정책 결정에 대한 내용을 평가하였다. 이 보고서에서 WETT는 미국 에너지-물 관련 정책 결정이 연방정부에서 지역정부까지 관할권, 과거 자원 개발 및 자원 함유량에 있어 근본적인 차이 등 다양한 요인으로 인해 매우 복잡하고 파편화되어 있지만 이 에너지 영역과 수자원 영역 사이의 정책 조화(harmonization)를 위한 기회 또한 존재함을 지적하였다.⁵²⁾ 이처럼 미국은 에너지-물 넥서스 관련 전담기구를 구축하고 이 이슈에 대해 광범위하고 통합적인 평가를 시행할 것을 제안하고 있다.

3. 법 제정 노력

2005년 제정된 에너지정책법(Energy Policy Act)의 section 979에서는 이미 에너

유용하게 사용될 수 있다.

⁵⁰⁾ Department of Energy, *The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities*, 2014, 3면; <http://www.energy.gov/water-energy-tech-team> (2016.01.05.)

⁵¹⁾ Benjamin K. Sovacool and Kelly E. Sovacool, 앞의 논문, 2009, 368-370면.

⁵²⁾ Department of Energy, 앞의 책, 2014, v-xiii면.

지와 수자원 간의 긴밀한 관계를 인식을 찾아볼 수 있다. 이 법 조항은 수자원의 지속가능한 이용을 위한 에너지 관리, 반대로 에너지 자원의 지속가능한 이용을 위한 수자원 관리, 이 두 자원과 관련된 연방 기관 및 부처 간에 시행되는 프로그램의 평가, 이 section의 내용을 수행함에 있어 부처 간 협력을 강조, 자문위원회의 수립 등에 관한 내용을 포함하고 있다. 또한, 동법 시행 2년 이내 에너지부는 에너지부 및 연방정부 기관에서 시행되고 있는 관련 프로그램을 평가 및 제언을 하는 보고서를 국회에 제출해야 한다. 이 법안은 에너지와 물의 상호연관성을 인식하고 두 자원의 지속가능한 이용을 위한 대응노력을 강조하였지만, 관련 R&D 활동에 기금을 제공하지 않아 그 적극성에 한계를 지닌다.⁵³⁾

2009년 이후로 에너지 물 연구 통합법(Energy and Water Research Integration Act of 2009)이 발의되고 논의되고 있다.⁵⁴⁾ 이 법안은 수자원의 효율적이고 신뢰할 수 있으며 지속가능한 방식의 공급을 보장하기 위해 에너지부로 하여금 에너지 기술, 에너지 효율개선 기술 및 방법을 개발해 담수 사용을 최소화하고 물 이용 효율을 높이고 대체 물 이용 자원을 이용하도록 정하고 있다. 또한, 이 법안은 기후변동과 기후변화가 물 공급 및 에너지 생산에 미치는 영향을 고려하고 물 공급에 필요한 에너지양과 에너지 공급에 필요한 물에 대한 이해를 개선할 것을 언급하고 있다. 이 후 이 법안은 제112회 의회(2011-2013)에서도 발의되었고 이후 제113회 의회(2013-2015)에서도 다시 발의되어 논의되었다.⁵⁵⁾ 물론 이 법안이 아직 법으로 제정되지 않았지만, 이러한 지속적인 노력과 법안의 내용은 정책입안자들이 에너지-물 넥서스의 중요성을 인식하고 이에 대한 대응하기 위해 적극적으로 노력하고 있음을 시사한다.

이외에도 스마트 에너지 및 물 효율 법(Smart Energy and Water Efficiency Act)

⁵³⁾ Benjamin K. Sovacool and Kelly E. Sovacool, 앞의 논문, 2009, 370면.

⁵⁴⁾ 2009년 3월 5일 상원의원 Bigaman과 Murkowski가 이 법안을 발의하였다. 이 법안은 하원을 통과한 후 에너지 및 자연자원 위원회(Committee on Energy and Natural Resources)를 비롯한 여러 위원회의 의견을 수렴했다. 특히 과학기술위원회(Committee on Science and Technology)는 수정사항을 담은 보고서를 제출했고, 이 법안은 하원을 통과한 후 에너지 및 자연자원 위원회(Committee on Energy and Natural Resources)에 넘겨졌다 (<https://www.congress.gov/111/crpt/hrpt344/CRPT-111hrpt344.pdf> (2015.12.22.)) <https://www.congress.gov/bill/111th-congress/house-bill/3598/all-actions?q=%7B%22search%22%3A%5B%22%5C%22Energy+and+Water+Research+Integration+Act%5C%22%22%5D%7D&resultIndex=3&overview=closed> (2015.12.22.)

⁵⁵⁾ <https://www.congress.gov/search?q=%7B%22source%22%3A%22legislation%22%2C%22search%22%3A%22%5C%22Energy%20and%20Water%20Research%20Integration%20Act%5C%22%22%7D> (2015.12.20.)

또한 발의되어 위원회에서 의견수렴을 거치고 있다.⁵⁶⁾ 이 법안은 지역사회에서 물 또는 에너지 절약을 위해 물, 폐수, 물 재활용 시스템의 에너지 효율을 향상시키거나, 에너지와 물에 대한 실시간 자료를 제공하는 자동화 시스템을 설치하거나 혁신적인 공정의 이행에 도움이 되거나, IT 기술을 이용해서 물과 에너지 시스템의 관리, 수질, 에너지 및 물 절약에 도움이 되는 혁신적인 기술을 실증할 수 있도록 몇몇 해당 기관에 기금을 제공해 스마트 에너지 및 물 효율 관리 파일럿 프로그램을 수립하고 수행할 수 있도록 하는 것을 골자로 한다. 이 법안은 앞선 에너지 물 연구 통합법과 이 두 자원의 효율적이고 통합적인 관리를 위한 노력을 요구한다는 점에서 그 내용이 유사하지만, IT 기술 및 자동화 시스템 등 기술의 확대를 통한 자원이용의 효율 개선을 강조한다는 점에 차이가 있다.

IV. 국내 에너지-물 넥서스 관련 법적·정책적 대응 현황

1. 관련 통계 현황

환경부에서는 매년 『산업폐수의 발생과 처리』라는 통계를 작성하고 있다.⁵⁷⁾ 이 통계는 전국의 폐수배출업소와 관련된 정보를 수집하는데 일평균용수사용량, 일평균총공업용수량, 일평균생활용수량, 일평균 제품함유 및 증발량, 폐수발생량 등 물 이용 및 소비 현황에 대한 상세한 정보를 포함한다. 이 폐수배출업소에 화력발전 부문이 포함되어 있다.⁵⁸⁾ 그러나 이 통계는 산업체에서 어떤 오염 물질을 얼마나 배출하는지, 어떤 배출시설 및 방지시설을 설치해 운영하고 있는지 파악하는 것이 주목적이기 때문에, 이 통계에서 수집되는 화력발전소의 물 이용 현황 정보는 한계가 있다. 우선적으로 원자력발전 부문은 통계작성 대상에 포함되지 않는다. 또한, 화력발전부문에서의 물 이용 현황에 대한 정보도 사용연료, 발전기술, 발전량, 냉각기술, 등 에너지와 관련된 정보는 수집대상이 아니며, 용수를 상수, 지하수, 하천수, 해수, 재이용수 등으로 구분해 표기하고 있지만, 어떤 수계에서 취수하는지에

⁵⁶⁾ 이 법안의 경우 상원 및 하원 각각에서 발의되었다(S.886, H.R.3143).

⁵⁷⁾ 2015년 이전에는 공장폐수의 발생과 처리라는 이름으로 발간되었다.

⁵⁸⁾ 그러나 실제 통계에는 이 부분이 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업으로 표기되어 있어 다소 혼동을 야기한다. 이 보고서 부록의 배출시설분류 및 표준산업분류와의 관계(표 11)에 따르면 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업에는 화력발전시설만이 포함됨을 알 수 있다. 그러나 발전소별 용수이용 및 소비 현황 통계는 공개되지 않으며, 요청에 따라 제공받을 경우에도 어떤 발전소인지는 알 수 없다(환경부, 앞의 책, 2015, 519-521면).

대한 정보를 제공하지 않는다.

한국전력이 6개 자회사로 분리되기 이전에는 한국전력이 화력발전소별 월별 냉각수 사용량 및 온도현황에 대한 정보를 취합하였다.⁵⁹⁾ 그러나 사용량과 취수 및 방류 시 온도 정도만을 기록하고 있을 뿐 발전소별로 어떤 냉각기술이 이용되었는지, 냉각수가 어떤 취수원에서 취수되었는지 등 보다 상세한 정보는 수집되지 않았다. 그러나 이마저도 2001년 한국전력의 발전부문이 6개 자회사로 분리되면서 발전 부문에서의 물 이용량에 대한 자료는 각 발전자회사에서 관리되어 전체 발전 부문에서의 물 이용량 자료는 통합적으로 수집 및 정리되고 있지 않다. 또한 개별적으로 관리되는 자료의 경우 일반에 공개되지 않는 경우도 있다. 발전자회사별 지속가능보고서 또는 지속가능경영보고서를 살펴보면 용수 및 폐수 발생량 및 재이용량에 대한 정보를 간략하게 제공하거나,⁶⁰⁾ 이마저도 제공하지 않는 경우를 확인할 수 있었다.⁶¹⁾

국토교통부가 2013년 발행한 『통계로 보는 한국의 수자원』은 물과 관련된 여러 분야에 대한 통계 자료를 포함하고 있다. 5장 물과 소비·이용에는 부문별 물 이용 현황을 설명하고 있는데 여기에는 화력발전 부문의 냉각용수 이용량 현황이 정리되어 있다.⁶²⁾ 해당 내용은 환경부의 산업폐수 발생과 처리 통계보다 훨씬 상세하게 발전소별, 수원별 월별 냉각수 이용량을 기록하고 있지만, 이 자료는 주기적으로 발행되지 않기 때문에 한계가 있다. 또한, 이 통계는 8장에 물과 에너지·식량에 대한 내용을 담고 있으나, 식량 생산에 대해서는 가상수(virtual water)⁶³⁾ 개념을 이용해 각 작물에 대해 물 의존도를 평가한 반면 에너지에 대해서는 발전원별 발전

59) 한국전력공사, 『'98년도 발전소 환경관리실적 종합분석』, 1999, 43-44면.

60) 한국동서발전, 『2014 지속가능경영보고서』, 2014, 53면.

61) 한국남부발전, 『2014 한국남부발전 지속가능경영보고서』, 2015, 4-45면.

62) 국토교통부, 앞의 책, 2013, 336-337면.

63) 가상수는 제품 및 서비스의 생산과 공급에 얼마나 많은 물이 포함되어 (embedded) 있는지를 나타내는 개념으로 Allan(1998)이 도입한 개념으로 그는 곡물 1톤의 생산에 1,000톤의 물이 필요한 것처럼 곡물과 같은 상품의 생산에 필요한 물로 이러한 물이 재화에 포함되어 있으며 상품의 국제 무역 결과 가상수도 함께 거래되는 효과가 나타나 중동이나 북아프리카처럼 물이 부족한 지역은 상품 생산에 많은 양의 물이 필요한 상품을 직접 생산하는 대신 수입함으로써 물 부족을 해결할 수 있다고 주장하였다. 후에 이 가상수는 그 유용성이 인정되어 농산물을 넘어 점차적으로 적용범위가 확대되어 최근에는 에너지를 비롯한 다양한 분야에서 적용되고 있다(Wang Young-doo, Lee Jaesung, Agbemabiese Lawrence, Zame Kenneth, "Virtual water management and the water-energy nexus: A case study of three Mid-Atlantic states. Resources", *Conservation and Recycling*, Vol. 98, 2015, 76-84면).

량을 기록하는 데 그치고 있다. 이는 아직 정책담당자들의 에너지-물 넥서스에 대한 이해가 부족함을 보여준다.

미국과 달리 우리나라의 에너지-물 넥서스에 대한 통계(에너지 부문에서의 물 이용량 또는 물 부문에서의 에너지 이용량 통계)는 자료가 통합적으로 수집되지 않고, 그 수집 및 편찬되는 내용에 수원에 대한 상세한 정보, 냉각기술 등 관련 사항이 빠져있어 에너지-물 넥서스를 고려해 정책적 함의를 도출하기에는 부족한 실정이다. 그나마 에너지 부문에서의 물 이용량 통계는 화력발전 부문에 제한되어 있다. 원자력 발전의 용수 이용량과 관련된 정보는 일부 온배수 관련 연구에서 인용된 것을 제외하고는 관련 자료는 공개되지 않고 있다.⁶⁴⁾ 우리나라에서는 원자력 발전량의 비중을 고려한다면,⁶⁵⁾ 원자력 발전 부문에서의 물 이용량 자료 또한 더불어 수집하고 정책입안자를 비롯한 일반에 공개될 필요가 있다.

일반적으로 에너지-물 넥서스 연구에서 수자원은 담수에 제한되는 경우가 많다.⁶⁶⁾ 그러나 미국과 달리 우리나라는 앞서 설명한 것처럼 발전부문의 물 사용량 중 해수가 차지하는 비중이 매우 크다. 해수의 이용은 담수자원처럼 경쟁적이지 않지만, 온배수 형태로 배출되면서 인근 양식장에 영향을 미치거나 생태계 변화를 야기하는 등 피해를 초래하기 때문에 해수이용량과 온배수 온도에 대한 현황 정보에 대한 통계 구축도 필요하다.

2. 대응기구 현황

에너지-물 넥서스에 대한 논의는 물, 에너지와 각각 긴밀한 관계를 맺고 있는 식량을 포함해 에너지-물-식량 넥서스(Energy-Water-Food Nexus)에 대한 논의로 확대되는 추세이다. 국내에서는 에너지-물 넥서스에 대한 논의보다는 이 세 자원 간의 상호의존성에 대한 논의가 더욱 활발하다.⁶⁷⁾ 앞서 언급한 것처럼, 국내에서는 농업

64) 맹준호 외, 위의 책, 2013, 61면; 조정희 외, 『발전소 온배수 활용 저탄소 녹색 양식업 발전 방향』, 2010, 14면.

65) 한국전력통계정보시스템에 따르면 2014년 기준 총발전량(발전사업자+상용자가) 대비 원자력발전은 약 28.8%를 차지한다.

66) 통상 담수 자원에 대한 경쟁이 더 심각하기 때문에 에너지-물 넥서스 연구는 그 연구의 범위를 담수로 한정하는 경우가 많다(Larson Dana, Lee Cheryl, Tellinguisen Stacy, Keller Arturo, “California’s Energy-Water Nexus: Water Use in Electricity Generation”, Southwest Hydrology, 2007, 20면).

67) 조울생 외(2014)는 SDGs 달성을 위해 부처 간 통합적인 정책의 이행 방안에 대한 모색 필요성을 지적하면서 특히 에너지-물-식량의 경우 환경부, 농림부, 산업통상부 등 관련

부문의 물 이용량이 에너지 부문에서의 물 이용량보다 훨씬 많고, 자체적인 자원 개발 및 채굴 사업 규모가 매우 작고, 담수 대신 해수를 거의 냉각수로 이용하기 때문에 물과 에너지 간의 상호의존성에 대한 관심은 에너지-물-식량 넥서스보다 상대적으로 낮은 편이다.⁶⁸⁾

미국과 달리 우리나라의 경우 에너지-물 넥서스 또는 에너지-물-식량 넥서스에 관련된 이니셔티브를 에너지 정책을 주관하는 산업통상자원부가 아닌 국토교통부 산하의 수자원공사에서 가지고 있는 듯하다. 수자원공사는 에너지-물-식량 넥서스에 대한 학회 및 토론회를 개최하고 관련 연구 사업에 착수하였다.⁶⁹⁾ 수자원 공사는 에너지-물-식량 넥서스를 인식하고 기후변화에 성공적으로 대응하는 동시에 이를 스마트 워터 그리드의 좋은 사업기회로 인식하고 있는 듯하다. 수자원공사가 상대적으로 선도적으로 행동하고 있으나, 에너지-물 넥서스 또는 에너지-물-식량 넥서스에 대한 전담 조직이나 이 이슈에 대해 각 정부 부처 간 노력을 조정하고 보다 조화로운 정책 수립을 위한 이니셔티브 수립을 위한 노력은 아직 찾아볼 수 없다. 미국의 WETT뿐 아니라 UN도 UN의 담수 및 위생시설 관련 문제에 관한 UN 내 부처 간 조정 메커니즘인 UN Water를 수립하고 물과 에너지의 긴밀한 상호의존성을 인식하고 에너지 생산을 위한 물의 효율적인 이용을 강조하고 있다.⁷⁰⁾ 이처럼 서로 관할 부서가 다른 서로 긴밀하게 연계된 자원들의 지속가능한 관리를 위해서는 부처간 협력 및 조화로운 정책의 수립과 이행이 필수적이다.

부처 간 조정 및 협력이 필요함을 언급하였다(워터저널, 녹색성장 부합한 지속가능한 물 관리 필요, 2013, <http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=17394> (2016.1.7.); 장석환, “자원위기 대응 및 물산업 선도를 위한 에너지-물-식량 연계 (Water-Energy-Food Nexus) 기술개요”, 『한국수자원학회지』, 49(11), 2015, 24-31면; 정기문, Albert Wicaksono, 강두선, “Water-Energy-Food Nexus 기술이란?”, 『Water for Future』, 제48권, 제4호, 2014, 45-51면; 정우진, 『에너지-식량-물 불안 가속화: 시장기능 확대와 기술개발로 대응』, 미래연구포커스, 2015, 16-19면; 조을생 외, 『지속가능발전목표 (SDGs) 세부대응전략 수립을 위한 연구』, 환경정책평가연구원, 2014, 119면).

68) 박병원 외, 『미래사회 중장기 난제해결을 위한 기술사회적 대응방안』, 과학기술정책연구원, 2014, 222-226면.

69) 수자원공사는 2015년 10월 6일 ‘에너지-물-식량 Nexus’ 국제컨퍼런스를 개최하고 2015년 12월 4일 ‘한반도 Water-Energy-Food Nexus’ 대토론회를 개최하였다.

70) UN Water, *Water and Energy*, 2014 <http://www.unwater.org/topics/water-and-energy/en/> (2015.10.30.)

3. 법 현황

저탄소 녹색성장 기본법 제52조는 기후변화로 인한 물 부족 및 수질악화 수생태계 변화에 대응하기 위해 물 관리 노력의 수립 및 시행을 명하고 있다. 그러나 제1항에서 안정적인 수자원의 확보, 제3항에서 물 수요 관리, 물 순환 체계 확립 및 수해 예방을 언급하고 있지만, 보다 덜 물 집약적인 에너지 믹스의 구성 등의 노력을 통한 물 수요 관리와 같이 다른 자원과의 상호연관관계에 대한 인식은 찾아볼 수 없다.

에너지법은 효율적인 에너지 수급을 법의 목표 중 하나로 설정하고 에너지 생산·전환·수송·저장·이용 등에 있어서 효율성의 극대화를 위한 책무를 요구하고 있다. 또한, 에너지의 효율적인 사용을 위한 기술개발을 포함해 여러 에너지 관련 기술에 대한 에너지기술개발계획의 수립을 명하고 있다. 『제3차 에너지기술개발계획』의 17대 프로그램을 살펴보면 물을 포함한 다른 자원의 절약 또는 보다 효율적인 관리 및 첨단기술의 사용을 통한 에너지 절약 기술 또는 효율적인 에너지 이용 기술에 대한 내용은 찾아볼 수 없다.⁷¹⁾ 이와 같이 에너지법에서도 다른 자원과 에너지와의 상호 연계에 대한 인식은 찾아볼 수 없다.

에너지이용 합리화법은 안정적인 에너지 수급뿐 아니라 합리적이고 효율적인 이용의 확대를 목표로 하고 있다. 동법 제4조는 에너지이용합리화에 관한 기본계획의 수립과 기본계획에 포함될 내용을 규정하고 있다. 제2항에 열거된 항목을 광범위하게 해석한다면 물 절약을 통한 간접적인 에너지 절약 등이 포함될 수 있으나 이 법의 전반적인 내용을 살펴보았을 때 타자원과의 관계를 고려하고 있다고 보기 어렵다. 『제5차 에너지이용합리화 기본계획』의 다섯 가지 주요정책과제에는 소비주체별 에너지 수요관리, 전환손실 감축, 에너지가격 및 시장제도 개선, 에너지정보 개선, 에너지효율 향상이 포함된다. 정책과제별 프로그램을 살펴보면 절수 등 에너

71) 17대 프로그램은 크게 에너지 공급기술 부문, 에너지 수요관리 기술, 에너지 융합혁신기술로 나뉘며 각각의 다음과 같다. 에너지 공급기술 부문에는 차세대 전차자원 개발, 고효율 청정화력 발전, 국민 안심 원자력 발전, 신재생에너지 하이브리드 시스템, 차세대 청정연료, 차세대 송배전이 포함되고, 에너지 수요관리기술 부문에는 스마트 홈빌딩, 스마트 FEMS, 스마트 마이크로그리드, 에너지 네가와트 시스템, 수요대응형 ESS, CO₂ 포집/활용/저장 프로그램이 포함된다. 마지막으로 에너지 융합혁신기술 부문에는 미래형 에너지발전, 무선전력송수신, 미래형 고효율 에너지 변환/저장, 3D 프린팅 기반 최신 제조 공정 기술, 에너지 IoT+빅데이터 플랫폼 구축 프로그램이 포함된다(산업통상자원부, 『신산업창출과 혁신생태계 구축을 위한 중장기 에너지기술개발전략 확정 - 제3차 에너지기술개발계획, 국가과학기술심의회에서 확정-』, 2014.12.22. 보도자료).

지와 연관된 다른 자원의 관리 및 절약 수단을 통한 에너지 절약 계획 및 인식을 찾아볼 수 없다.⁷²⁾

물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률은 물의 효율적인 활용을 통해 수자원의 지속가능한 이용을 도모하기 위해 빗물, 오수, 하수처리수, 폐수처리수, 원자력 발전소를 제외한 발전소 온배수의 재이용을 촉진하고 지원하기 위한 촉진을 위한 연구개발사업의 수행 및 시범 사업 및 교육 및 홍보 사업의 수행에 대한 내용을 담고 있다. 이 법은 일정량 이상의 폐수를 배출하는 발전시설의 경우 중수도시설의 설치를 의무화하고 있다는 점에서 고무적이다. 그러나 법의 목적 및 범위로 인해 보다 덜 물 집약적인 냉각기술(*less water intensive cooling technologies*)의 사용 및 연구 개발의 지원에 대한 내용은 포함되지 않는다.

국내에서도 2010년 이후 에너지-물 넥서스 또는 에너지-물-식량 넥서스 문제에 대한 관심이 높아지고 있지만, 관련 법의 제정이 지속적으로 시도되고 있는 미국과 달리 아직은 국내 관련 법에서 에너지와 물 사이의 상호연관성에 대한 인식을 찾아볼 수 없었다. 에너지, 기후변화, 물 관련 법에서 에너지 또는 물 각 자원의 절약 및 효율적인 이용에 대한 조항들을 찾아볼 수 있었으나 해당 내용이 에너지와 물 사이의 상호연관성에 대한 인식을 포함하고 있다고 볼 수 없었다.

V. 결론

에너지와 물은 서로 긴밀하게 연계되어있다. 기후변화로 인한 물 이용가능성 악화와 인구증가, 경제성장 및 삶의 질의 향상으로 인한 물 수요 증가로 인해 향후 수자원에 대한 압력이 높아질 것으로 전망되면서 에너지와 물 사이의 상호연관성에 대한 인식을 바탕으로 한 에너지정책 및 수자원관리 정책의 수립 필요성이 높아지고 있다.

미국은 에너지-물 넥서스 분야에서 선도적인 노력을 기울이고 있다. 연방 기구를 비롯한 정책입안자들이 에너지-물 넥서스의 중요성을 인식하고 관련 이슈에 대응하기 위한 적극적인 노력을 기울이고 있는 것으로 나타났다. 그러나 국내의 경우 관련 법에서 에너지와 물의 상호의존성에 대한 인식 혹은 고려를 찾아볼 수 없었

72) 산업통상자원부, 『2017년 최종 에너지 소비를 전망 대비 4.1% 감축 - 제5차 에너지이용합리화 기본계획 확정 -』, 2014.12.2. 보도자료.

다. 이는 근본적으로 정책입안자들의 에너지-물 넥서스에 대한 인식이 낮음을 시사한다. 우리나라는 화력발전부문에서 사용되는 물의 양이(담수) 상대적으로 적어서 에너지 정책에 있어 물의 이용가능성 혹은 물 정책에 있어 전원계획의 중요도가 상대적으로 낮지만, 2015년 역사적인 가뭄으로 인해 수력발전의 생산성 저하와 댐에서 용수를 취수하는 화력발전소의 용수 조달에 차질이 발생했다. 이처럼 국내에서도 에너지와 수자원 사이의 긴밀한 상호연관성을 확인할 수 있는 실제 사례가 발생했고, 이와 같은 현상은 향후 기후변화로 인한 수자원의 이용가능성의 악화로 더 확대되고 심화될 전망이다. 때문에 에너지-물 넥서스에 대한 인식을 바탕으로 한 대응이 필요하다. 예를 들어, 기후변화 및 물 자원의 수요 증가로 인한 미래 물 이용가능성 저하에 대비해 기존 발전원 및 추가되는 발전원을 에너지-물 넥서스 관점에서 평가할 필요가 있다. 이 평가에는 이 발전원이 물 이용가능성에 미칠 영향 등이 포함되어야 하며, 물 집약적인 발전기술에 대해서는 더 면밀한 검토를 수행해야 한다. 즉, 기존에 전원계획을 포함한 에너지 정책은 주로 기후변화 저감과 안정적인 에너지 공급(혹은 에너지 안보)의 두 가지 측면에서 평가되었다. 그러나 여기에 수자원과 같이 다른 자원에 미치는 영향을 포함해 기후변화저감 외에 기후변화로 인한 수자원의 이용가능성 악화에 대한 적응 측면을 포함해 기후변화대응의 측면에서 보다 포괄적으로 평가되어야 한다. 이를 위해서는 법제도의 정비가 필요하고, 관련 연구사업에 대한 지원이 필요하다.

또한, 각 기관 및 부처별로 중복적으로 시행되는 연구 사업으로 인한 예산 낭비를 막고, 보다 효과적인 성과 확산을 장려하고, 다른 자원의 지속가능한 이용에 상충되는 방향의 자원 관리 및 정책의 수립을 예방하기 위해서 부처 간 자원 관리 계획 및 예산 관련 조정 노력이 필요하다. 그러므로 이런 업무를 전담할 수 있는 부처 간 조정 및 협력 전담 기구 또는 프로그램의 운영이 필요할 것이다.

마지막으로 에너지-물 넥서스 관련 평가 및 정책적 제언을 하기 위해서는 현황 분석이 기초가 되어야 한다. 그러나 앞서 설명한 것처럼 우리나라의 경우 현황 파악에 필요한 통계 자료가 매우 미비한 상태이다. 에너지 부문에 대해서 발전기술, 연료, 냉각기술별 물 이용량 및 소비량, 취수원에 대한 정보 등 보다 실질적으로 에너지-물 넥서스를 평가하고 정책을 제언할 수 있도록 수집하는 정보의 범위를 확대하고 그 질을 개선해야 한다. 또한, 현재 물 이용량 통계는 통계별로 작성 주체가 달라, 통합되지 않고 분절된 형태로 작성되고 있어 전체 에너지 부문에서의 물 이용 현황에 대한 정보를 파악하기 어렵고 그 신뢰도도 낮기 때문에 한 기관의

주관으로 주기적이고 지속적으로 관련 통계를 수집·편찬해 관련 정보가 누적될 수 있도록 현 통계작성 시스템을 개선할 필요가 있다.

에너지-물 넥서스에 대한 인식 확대, 국내 에너지-물 넥서스를 파악하기 위한 통계 시스템의 개선, 서로 다른 두 자원의 지속가능한 관리 및 이용을 위한 부처 간 협력 및 조정 기구 또는 프로그램의 수립, 기후변화를 비롯한 다양한 요인들을 고려한 현재 발전원 및 향후 추가 예정인 발전원의 물 이용량 평가 등과 관련된 법제도의 정비한다면, 물과 에너지를 지속가능한 방향으로 이용 및 관리하고 기후변화에 적절히 대응할 수 있을 것이다.

투고일자 2016.01.15, 심사일자 2016.02.16, 게재확정일자 2016.02.17

참고문헌

[국내문헌]

- 국토교통부, 『통계로 보는 한국의 수자원』, 2013
- 기상청, 『한반도 기후변화 전망보고서』, 2012
- 맹준호·김태윤·서동환·서재인·손민호·강태순, 『발전소 냉각수 배출에 따른 해양환경 영향예측 및 최소화방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2013
- 박병원·성지은·윤정현·원유형·이승민·최윤희·정우진, 『미래사회 중장기 난제해결을 위한 기술사회적 대응방안』, 과학기술정책연구원, 2014
- 산업통상자원부, 『신산업창출과 혁신생태계 구축을 위한 중장기 에너지기술개발전략 확정 - 제3차 에너지기술개발계획, 국가과학기술심의회에서 확정-』, 2014.12.22. 보도자료
- 산업통상자원부, 『2017년 최종 에너지 소비를 전망 대비 4.1% 감축 - 제5차 에너지융합리화 기본계획 확정 -』, 2014.12.2. 보도자료
- 수자원공사, 『물과 미래』, 2015
- 신안국·김영득·김진택·김광용·이성희·최원우·문성근·최진용·이상현·홍은미·이상현·홍은미·이성학·박나영·홍민기·박경성·노재동, 『지속가능한 수자원이용을 위한 물 발자국 산정 및 적용(최종)』, 농림축산식품부·한국농어촌공사, 2014
- 위터저널, 녹색성장 부합한 지속가능한 물 관리 필요, 2013.7.8.
<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=17394> (2016.1.7.)
- 임호범, “‘최악 가뭄’ 충남 첫 강제 제한급수... 물 모자라 발전소 가동 비상”, 2015
<http://www.hankyung.com/news/app/newsview.php?aid=2015102750691>
 (2015.11.30.)
- 장석환, “자원위기 대응 및 물산업 선도를 위한 에너지-물-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술개요”, 『한국수자원학회지』, 제49권, 제11호, 2015
- 정기문·Albert Wicaksono·강두선, “Water-Energy-Food Nexus 기술이란?”, 『Water for Future』, 제48권, 제4호, 2014
- 정우진, 『에너지-식량-물 불안 가속화: 시장기능 확대와 기술개발로 대응』, 미래연구포커스, 2015
- 정일웅, “충남도, 내달 정부 주도 첫 ‘강제 제한급수’ 시행”, 2015 <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2015102808135649039> (2015.11.30.)

- 조을생·노태호·강택구·김선아·박준현·박준희, 『지속가능발전목표(SDGs) 세부대응전략 수립을 위한 연구』, 환경정책평가연구원, 2014
- 조정화·김대영·이정삼, 『발전소 온배수 활용 저탄소 녹색 양식업 발전 방향』, 2010
- 한국남부발전, 『2014 한국남부발전 지속가능경영보고서』, 2015
- 한국동서발전, 『2014 지속가능경영보고서』, 2014
- 한국전력공사, 『'98년도 발전소 환경관리실적 종합분석』, 1999
- 환경부, 『공장폐수의 발생과 처리』, 2014

[외국문헌]

- Ashlynn Suzanne Stillwell, *Water Impacts on Thermoelectric Power Generation, Dissertation*, Doctoral Dissertation, 2013
- Benjamin K. Sovacool and Kelly E. Sovacool, “Preventing National Electricity-Water Crisis Areas in the United States”, *Columbia Journal of Environmental Law*, Vol. 34, No. 2, 2009
- Claudia Copeland, *Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use*, 2014
- Department of Energy, *U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather*, Washington D.C.: DOE, 2013
- Department of Energy, *The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities*, Washington D.C.: DOE, 2014
- EIA, *Form EIA-860 Annual Electric Generator Report*, OMB No. 1905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_860/form.pdf
- EIA, *Form EIA-860 Instructions Annual Electric Generator Report*, OMB No. 2905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_860/instructions.pdf
- EIA, *Form EIA-923 Power Plant Operations Report*, OMB No. 1905-0129. n.d. https://www.eia.gov/survey/form/eia_923/form.pdf
- EIA, *Form EIA-923 Power Plant Operations Report Instructions*, OMB No. 1905-0129. n.d. http://www.eia.gov/survey/form/eia_923/instructions.pdf
- Food and Agriculture Organization of United Nations, *Freshwater Availability-Precipitation and Internal Renewable Water Resources (IRWR)*, 2014 http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-IRWR_eng.pdf (2015.10.12.)
- Greenpeace, *Thirsty Coal: A Water Crisis Exacerbated*, 2012
- IEA, *Water for Energy Is energy becoming a thirstier resource? Excerpt from the*

- World Energy Outlook*, Paris: IEA, 2012
- IPCC, *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, 2013
- Jordan Macknick, Robin Newmark, Garvin Heath, and KC Hallett, *A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*, Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2011
- John Harte and Mohamed El-Gasseir, “Energy and War”, *Science*, Vol. 199, No. 4329, 1978
- Dana Larson, Cheryl Lee, Stacy Tellinguisen, and Arturo Keller, “California’s Energy-Water Nexus: Water Use in Electricity Generation”, *Southwest Hydrology*, 2007
- Mally A. Maupin, Joan F. Kenny, Susan S. Hutson, John K. Lovelace, Nancy L. Barber, and Kristin S. Linsey, *Estimated use of water in the United States in 2010*, Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular, 2014
- Nguyen Bruno, *WEF_Nexus strategy and plan of UNESCO-IHP, Water-Energy-Food Nexus International Conference FKI Conference Center*, Seoul, Oct 6 2015
- Scott Waldman, *Cold weather triggers shutdown process at Indian Point*, 2015 <http://www.capitalnewyork.com/article/albany/2015/01/8559857/cold-weather-triggers-shutdown-process-indian-point> (2015.11.22.)
- Steven Mufson, *3 nuclear power reactors shut down during Hurricane Sandy*, 2012 https://www.washingtonpost.com/business/economy/3-nuclear-power-reactors-shut-down-during-sandy/2012/10/30/7ddd3a94-22b6-11e2-8448-81b1ce7d6978_story.html (2015.11.22.)
- Todd C. Frankel, *Western drought steals clean energy along with fresh water at power plants*, 2015 https://www.washingtonpost.com/national/at-hoover-dam-the-drought-is-stealing-clean-energy-along-with-fresh-water/2015/04/26/8ce2740a-e93d-11e4-9767-6276fc9b0ada_story.html (2015.11.22.)
- Union of Concerned Scientists, *How it works: Water for Power Plant Cooling*, n.d. http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant.html#.VIQbZnbhCUk (2015.12.31.)

United Nations, *The Millenium Development Goals Report*, 2015
<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/English2015.pdf> (2015.10.12.)

UN Water, *Water and Energy*, 2014 <http://www.unwater.org/topics/water-and-energy/en/> (2015.10.30.)

Young-doo Wang, Jaeseung Lee, Lawrence Agbemabiese, and Kenneth Zame, “Virtual water management and the water-energy nexus: A case study of three Mid-Atlantic states. Resources”, *Conservation and Recycling*, Vol. 98, 2015

<Abstract>

Sustainable Water and Energy Management
The Study of Laws and Policies in the U.S. and S. Korea from the Perspective of
the Energy-Water Nexus*

Kim, Ha-Na**

Energy and water are closely related, which is called energy-water nexus. The availability of water resources would be aggravated due to climate change, population increase, economy growth, incorrectly-designed energy policies, etc. While this study recognizes the necessity to respond to this issue, this paper identifies the concept of energy-water nexus, reviews energy-water-nexus-related responses in the U.S., which leads this issue, analyzes domestic laws and institutions, and recommends some enhancements.

The recognition of energy-water nexus was not found in domestic laws. Also, any programs or organizations are absent, which can coordinate duplicate or conflicted policy measures between different government departments. Furthermore, the statistics that survey energy-water nexus in Korea are not being collected. The information of currently available statistics is limited, and it is unclear who or which department or office needs to collect and publish the statistics. In order to more effectively respond to climate change including exacerbated water availability and to manage and use energy and water in more comprehensive and sustainable manner, it is required that the interdependence between these two resources is reflected in laws and institutions; R&D regarding energy-water nexus needs to be increased together with enhancement of the relevant statistics, so that implications to policies can be suggested from the analysis of the current status.

Key words: Climate change, Water availability, Energy-water nexus, Energy-water independence, Sustainable resource management
--

* This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2013S1A3A2054969).

** Institute of Legal Studies, Yonsei University, Research Professor